

51

Int. Cl. 2:

**H 04 R 1/34**

19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

B 06 B 1/00

B 06 B 3/00

H 04 R 17/00

**DEUTSCHES PATENTAMT**



**DE 25 41 492 B 2**

11

## **Auslegeschrift 25 41 492**

21

Aktenzeichen: P 25 41 492.0-31

22

Anmeldetag: 17. 9. 75

23

Offenlegungstag: 31. 3. 77

24

Bekanntmachungstag: 21. 2. 80

31

Unionspriorität:

22 23 31

54

Bezeichnung: **Ultraschallwandler**

71

Anmelder: **Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München**

72

Erfinder: **Magon, Valentin, Dipl.-Phys., 8000 München**

55

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-GM 68 01 203

DD 67 836

DD 56 124

FR 14 28 916

GB 3 52 043

**DE 25 41 492 B 2**

Fig.1

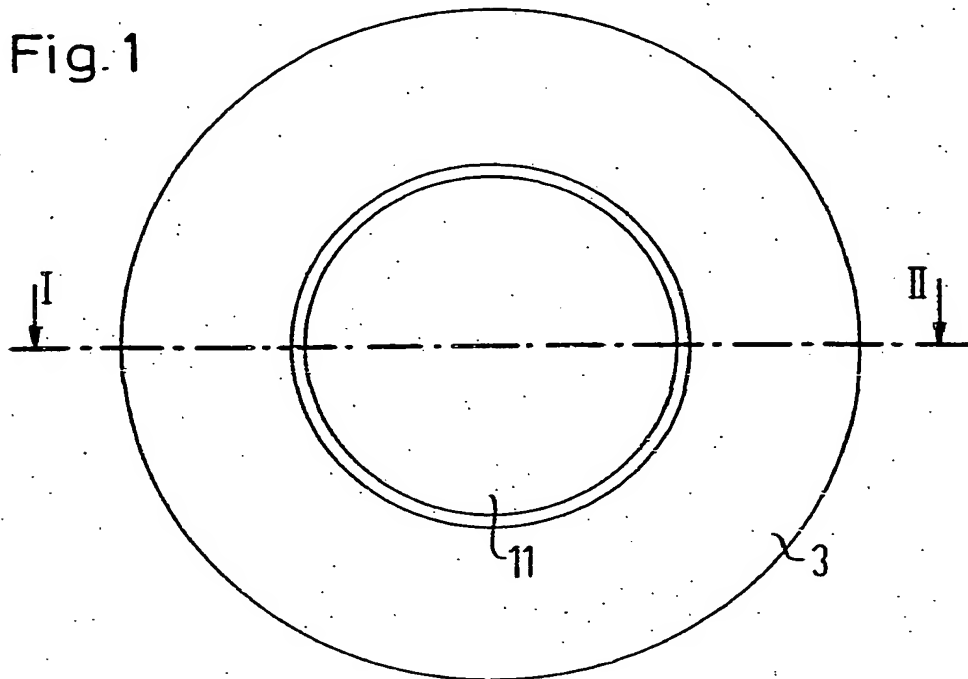


Fig.2

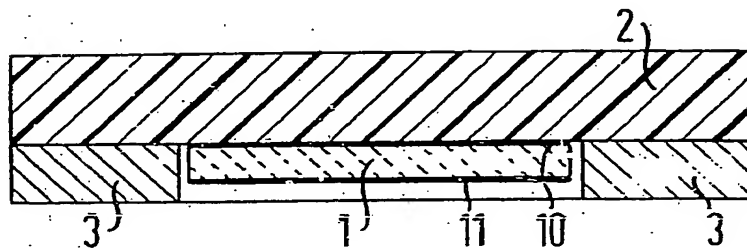
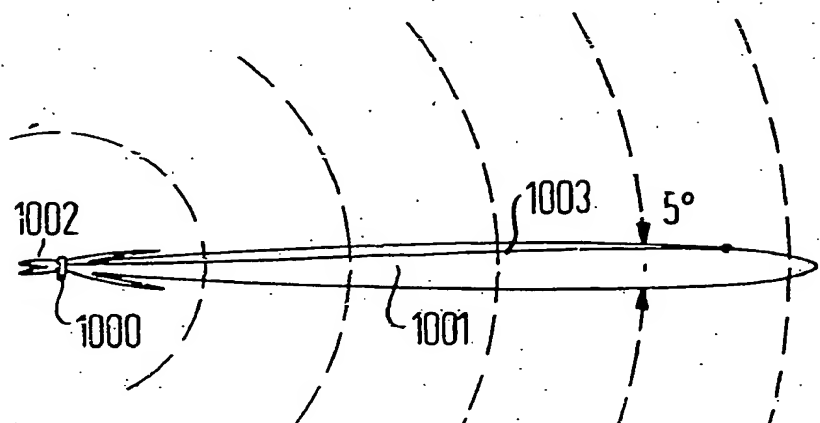


Fig.3



## Patentansprüche:

1. Ultraschall-Wandler mit einem Piezokörper, der piezoelektrisch zu Ultraschall-Schwingungen anzuregen ist und mit einer auf der einen Stirnfläche des Piezokörpers aufgetragenen Schicht mit einer Dickenabmessung  $\lambda/4$  der Schallwelle und aus einem Material mit einer Größe des Schallwellenwiderstandes  $\sigma$ , die zwischen dem Wert des Schallwellenwiderstandes des Materials des Piezokörpers und demjenigen des Mediums liegt, in das der Ultraschall abgestrahlt ist, dadurch gekennzeichnet, daß dieses Material der Schicht eine Schaumstoffplatte (2) ist, die eine gegenüber der Flächenabmessung des Piezokörpers (1) wesentlich größere Flächenabmessung (Fig. 1 und 2) mit über den Rand des Piezokörpers (1) überstehendem Bereich hat, und daß an dem überstehenden Bereich der Schaumstoffplatte (2) auf der Seite des Piezokörpers (1) ein Beschwerungsring (3) angebracht ist, der im Vergleich zur Schaumstoffplatte (2) ein derart großes Gewicht hat, daß die Grenzfläche zwischen dem Piezokörper (1) und dem Beschwerungsring (3) einerseits und der Schaumstoffplatte (2) andererseits eine Knotenfläche der Schwingung des ganzen Ultraschall-Wandlers ist.

2. Ultraschall-Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Piezokörper (1) ein Keramikkörper ist, der mit zwei Elektroden (10, 11) zum Anschluß an eine Wechselspannungsquelle versehen ist.

3. Ultraschall-Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschwerungsring (3) aus Aluminium und daß die Schicht (2) mit der Dickenabmessung  $\lambda/4$  aus einem Schaumstoff mit einem Schallwellenwiderstand zwischen  $5 \cdot 10^3$  und  $5 \cdot 10^4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$  besteht.

Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Wandler, wie er im Oberbegriff des Patentanspruches 1 angegeben ist.

Für ein Ultraschall-Echolot-System sind Ultraschallwandler wünschenswert, die einen Schallstrahl mit besonders geringem Öffnungswinkel erzeugen. Dadurch können störende Reflexionen des Ultraschalls vermieden werden, so daß ein besonders hohes Auflösungsvermögen erreicht werden kann. Unter Auflösungsvermögen wird verstanden, daß zwei nahe beieinanderliegende Objekte unterschieden werden können.

Bei einem Ultraschallwandler sind die Abmessungen im wesentlichen durch die vorgesehene Betriebsfrequenz und das Material des Wandlers vorgegeben. Mit den Abmessungen des Ultraschallwandlers ist auch die Größe der Schallabstrahlfläche des Wandlers bestimmt, wobei durch die Größe der Schallabstrahlfläche im wesentlichen der Öffnungswinkel des erzeugten Schallstrahls bestimmt ist. Bei einer Betriebsfrequenz von ca. 49 kHz und Blei-Zirkonat-Titanat als Material für den Wandler ergibt sich ein Öffnungswinkel von etwa  $10^\circ$  bis  $12^\circ$  ( $1^\circ = \pi/180$ ).

Aus dem Stande der Technik, so z. B. aus der GM-Schrift 68 01 203, ist ein Ultraschallwandler bekannt, bei dem an dem eigentlichen aktiven Schwingerelement eine Platte mit geringer Dämpfung und einem

Schallwellenwiderstand  $\rho$  angebracht ist, der dem geometrischen Mittel aus den Schallwellenwiderständen des Ausbreitungsmediums und des Schwingerelements möglichst nahekommt. Die Dicke der Platte wird auf den Wert  $d = \lambda/4$  - Ultraschallwellenlänge  $\lambda$  bemessen. Es wird damit eine Anpassung der Wellenwiderstände angestrebt. Als Materialien für diese Platte sind Kork und Silikonkautschuk erwähnt. Es ist dort vorgeschlagen, zwischen dieser Platte mit der Dickenabmessung  $\lambda/4$  und dem aktiven Schwingerelement noch einen zusätzlichen Block mit einer Dickenabmessung  $\lambda/2$  dazwischenzufügen, wobei bereits dieser Block einen gegenüber dem Schwingerelement größeren Durchmesser hat. Andere Ausführungsformen eines Ultraschallschwingers mit einer Schicht mit der Dickenabmessung  $\lambda/4$  und dem Schallwellenwiderstand  $\sigma$  entsprechend dem geometrischen Mittelwert sind auch aus der britischen Patentschrift 3 52 040, der französischen Patentschrift 14 28 916 und aus den DDR-Patentschriften 67 836 und 56 124 bekannt.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen solchen Ultraschallwandler anzugeben, bei dem einerseits die bekannte Gesetzmäßigkeit der Anpassungsbedingung möglichst gut erfüllt ist und andererseits der Aufbau derart ist, daß eine Schallstrahlung mit besonders geringem Öffnungswinkel erzeugt wird.

Diese Aufgabe wird für einen wie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 angegebenen Ultraschallwandler mit Hilfe der Merkmale des Kennzeichens des Patentanspruches 1 gelöst.

Bei einem wie erfindungsgemäßen Ultraschallwandler ist infolge des Beschwerungsringes, der an dem über den Rand des Piezokörpers wesentlich überstehenden Bereich der Schaumstoffplatte angebracht ist, ein solches Schwingverhalten erreicht, bei dem gleichphasige Schwingung der Schaumstoffplatte vorliegt.

Im vorliegenden wird die Erfindung an Hand eines Ausführungsbeispiels, wie es in den Figuren dargestellt ist, erläutert.

Dabei zeigt die Fig. 1 eine Draufsicht, die Fig. 2 ein Schnittbild entlang der Schnittlinie II-II, wie sie in der Fig. 1 eingezeichnet ist.

Der Ultraschallschwinger besitzt einen kreisförmigen Piezokörper 1, der an seinen beiden Stirnflächen jeweils eine Metallelektrode 10, 11 besitzt. Diese können beispielsweise durch Einbreitversilberung hergestellt sein. An diesen Elektroden sind Anschlußblitzen eingelötet, über diese Anschlußblitzen werden die Elektroden mit einer Wechselspannung versorgt. Dadurch wird der Keramikkörper vorzugsweise zu Radialschwingungen veranlaßt. Auf einer Stirnfläche des Keramikkörpers ist eine Schaumstoffschicht 2 aufgeklebt, die als  $\lambda/4$ -Schicht ausgebildet ist. Das bedeutet, daß diese Schicht eine Dicke von  $\lambda/4$  hat, wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des mittels des Keramikkörpers erzeugten Ultraschalls in dem Schaumstoff ist.

Die  $\lambda/4$ -Schicht besteht aus einem Material, dessen akustischer Schallwellenwiderstand ein Maß besitzt, welches zwischen der Größe des Schallwellenwiderstandes des Piezokörpers und der Größe des Schallwellenwiderstandes des Mediums, in dem sich der Schall ausbreiten soll, liegt. Dieses Medium ist im allgemeinen Luft oder Wasser.

Im Idealfall, d. h. wenn der Schallwandler nur Schall einer einzigen Frequenz erzeugt, und wenn die Schallabstrahlfläche sehr groß gegenüber der Wellenlänge ist, hat die  $\lambda/4$ -Schicht einen Wellenwiderstand von  $\rho_1 \rho_2 = (\rho_1 \rho_2 \rho_K)^{1/2}$ . Dabei bezeichnet  $\rho$  die Dichte

eines Mediums,  $c$  die Schallgeschwindigkeit in einem Medium, der Index  $s$  bezeichnet die  $\lambda/4$ -Schicht, der Index  $L$  das Medium, in dem sich der Schall ausbreiten soll, d. h. z. B. Luft oder Wasser, der Index  $K$  bezeichnet den Keramikkörper. Allgemein bezeichnet  $\rho c$  den akustischen Schallwellenwiderstand eines Stoffes.

Ist Luft das Ausbreitungsmedium für den erzeugten Schall, so sollte die  $\lambda/4$ -Schicht bei dem dargestellten Ultraschallwandler einen akustischen Schallwellenwiderstand besitzen, der zwischen den Werten  $5 \cdot 10^3 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$  und  $5 \cdot 10^4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$  liegt.

Die  $\gamma/4$ -Schicht besitzt bei dem erfindungsgemäßen Ultraschallwandler wesentlich größere Abmessungen als der Keramikkörper. Der überstehende Bereich der  $\lambda/4$ -Schicht ist auf der Seite des Keramikkörpers mit einem Beschwerungsring 3 verbunden. Dieser Beschwerungsring soll im Vergleich zur  $\lambda/4$ -Schicht ein großes Gewicht und eine große Fläche haben. Er kann beispielsweise aus Aluminium bestehen. Dieser Beschwerungsring umschließt konzentrisch den Keramikkörper ohne diesen zu berühren.

Der erfindungsgemäße Ultraschallwandler arbeitet in der folgenden Weise: Der Piezokeramikkörper wird elektrisch zu Ultraschallschwingungen angeregt. Der Schall wird nahezu nur auf der Seite der  $\lambda/4$ -Schicht abgestrahlt, da auf dieser Seite des Keramikkörpers aufgrund der  $\lambda/4$ -Schicht nahezu keine Schallreflexionen beim Durchgang des Ultraschalls vom Keramikkörper in die  $\lambda/4$ -Schicht und weiter in das Schallausbreitungsmedium entstehen. Durch den Beschwerungsring wird erreicht, daß die Grenzflächen zwischen diesem Ring und der  $\lambda/4$ -Schicht eine Knotenfläche darstellt, d. h. diese Grenzfläche ist beim Ultraschallbetrieb des Ultraschallwandlers nahezu in Ruhe. Dadurch wird erreicht, daß die freie Stirnfläche der  $\gamma/4$ -Schicht in ihrer vollen Größe nahezu gleichphasig schwingt, d. h. alle Punkte der freien Fläche bewegen sich relativ zum Piezokeramikkörper gleichzeitig zur einen oder zur entgegengesetzten Richtung. Damit wird erreicht, daß der abgestrahlte Schallstrahl einen sehr kleinen Öffnungswinkel aufweist, da angenähert eine räumlich durch die Größe der freien Oberfläche der  $\gamma/4$ -Schicht begrenzte ebene Welle erzeugt wird.

Aufgrund der beschriebenen Wirkungsweise des Ultraschallwandlers ist es ersichtlich, daß der Beschwerungsring auch Teil eines Gehäuses sein kann, welches der Ultraschallwandler eingebaut ist.

In jedem Fall eignet sich der Beschwerungsring dazu, den Wandler in vorteilhafter Weise an einer Halterung zu befestigen.

Durch den Beschwerungsring wird also erreicht, daß eine große Fläche, deren Abmessungen wesentlich größer sind, als die Stirnfläche des Keramikkörpers, zu gleichphasigen Schwingungen angeregt wird. Ohne den Beschwerungsring führt der Bereich der  $\lambda/4$ -Schicht, der über die Stirnfläche des Keramikkörpers hinausragt,

unkontrollierte Schwingungen aus, die sich gegenseitig auslöschen, so daß eine Schallabstrahlung praktisch nur in dem Bereich der  $\lambda/4$ -Schicht erfolgt, der mit dem Keramikkörper verbunden ist. Da dieser Bereich eine kleine Flächenausdehnung besitzt, ähnelt der erzeugte Schallstrahl mehr einer räumlich begrenzten Kugelwelle, d. h. der Öffnungswinkel ist verhältnismäßig groß.

Bei einem Ausführungsbeispiel des Ultraschallwandlers, welches für eine Betriebsfrequenz von ca. 40 kHz aufgelegt war, hatten die Elemente des Schallwandlers die folgenden Abmessungen: Der Keramikkörper aus Blei-Zirkonat-Titanat hatte eine Dicke von ca. 4,5 mm und einen Durchmesser von 52,5 mm. Der Beschwerungsring bestand aus Aluminium und hatte eine Dicke von 8 mm, einen Außendurchmesser von 100 mm und einen Innendurchmesser von 56 mm. Die  $\lambda/4$ -Schicht hatte einen Durchmesser von ebenfalls 100 mm und eine Dicke von 16 mm.

Die  $\lambda/4$ -Schicht kann in der folgenden Weise hergestellt werden: Ein Polystyrolack oder ein Epoxidlack wird mit Hohlkugeln aus Siliziumdioxid, die einen Durchmesser zwischen den Werten 30  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$  und eine Wandstärke von 2  $\mu\text{m}$  aufweisen, vermischt. Derartige Hohlkugeln sind unter dem Namen Eccospheres SJ der Fa. Emmerson & Cumming bekannt. Ein aus vier Gewichtsteilen Benzol und einem Gewichtsteil Polystyrol bzw. Epoxid bestehender Lack wird mit zwei Gewichtsteilen dieser Hohlkugeln verrührt. Dabei wird darauf geachtet, daß möglichst keine Luftblasen entstehen. Anschließend wird die entstandene breiige Masse auf dem Boden eines Gefäßes zum Trocknen vorgossen.

Nach einer Trockenzeit von 2 Tagen erhält man eine Schaumstoffplatte mit einer Dichte von ca. 0,16  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Diese Platte gibt beim Anschlagen mit einem harten Gegenstand einen hellen, fast metallischen Klang von sich. Dieser Schaumstoff besitzt einen akustischen Schallwellenwiderstand von ca. 2,1  $\cdot 10^4 \text{ g/s} \cdot \text{cm}^2$ . Die getrocknete Schaumstoffplatte wird auf das gewünschte Maß zugeschnitten und an ihren Oberflächen plan geschliffen.

Die Fig. 3 zeigt ein Beispiel für ein Richtdiagramm eines erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers. Aufgetragen ist der Schalldruck in Polarkoordinaten in Abhängigkeit vom Abstrahlwinkel, d. h. dem Winkel, den die jeweiligen Schallrichtung mit einer Senkrechten auf der Schallabstrahlfläche bildet.

Die Position 1000 bezeichnet den Ultraschallwandler. Man erkennt, daß praktisch nur zu einer Seite des Wandlers Schall abgestrahlt wird, dementsprechend ist die Schallkeule 1001 wesentlich größer als die Schallkeule 1002, dabei ist die Länge einer Verbindung 1003 zwischen einem Punkt auf dem Schallkeulenrand und dem Wandler 1000 ein Maß für den Schalldruck in dieser Ausbreitungsrichtung. Der Öffnungswinkel der Schallkeule beträgt ca. 5°.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen